

改良体の透水性能に着目した非着底改良地盤の圧密沈下特性

九州大学大学院 学○甲斐田 葉丞

九州大学大学院 正 石蔵 良平 F 安福 規之 学 有間 航

1. はじめに

我が国やアジア諸国には軟弱地盤が広く分布する地域が存在する。軟弱地盤層が厚い場合は、施工機械の改良深度限界や経済性、環境への配慮の観点から、支持層に改良体を到達させない非着底地盤改良技術の開発が期待されている。しかし、現状では改良体に透水性材料を用いた非着底改良地盤の圧密沈下メカニズムはいまだ明らかではない。本研究では、軟弱地盤層が厚い地域(30 m 以上)に非着底地盤改良技術を適用した場合の圧密沈下予測モデルを提案することを目指す。本論文では、非着底地盤改良への適用が想定される砂材、高炉水砕スラグ等の排水材料が改良地盤の圧密挙動に及ぼす影響について検討した。平面ひずみ載荷模型実験を実施し、改良体の透水性が模型地盤の圧密沈下挙動に及ぼす影響を観察した。

2. 実験概要

平面ひずみ載荷模型装置の概略図を図1に示す。模型地盤に載荷板を介して載荷を行い、その際の圧密沈下量の経時変化を、変位計を用いて計測する。模型実験に用いた改良体を表1に示す。砂杭、水砕スラグは相対密度 $D_r = 80\%$ に調整した後、凍結させて改良体を作製した。また、砂杭の透水係数 k は 2×10^{-4} (m/sec)、水砕スラグの透水係数²⁾は 2×10^{-3} (m/sec) である。セメント固化処理土は模型地盤に用いるカオリン粘土と高炉セメント B 種を用いて作製した。

模型地盤には含水比 $w = 80\%$ のカオリン粘土を使用し、アクリル容器内面にはテフロンシートおよびシリコングリスを塗布した上にメンブレンを貼り付けることで容器と粘土の間の摩擦を低減した。 $\sigma = 20$ kPa で予圧密を行うことで予圧密終了時に模型地盤高さ H が 270 mm 程度となるようカオリン粘土を充填した。予圧密終了後、改良体を模型地盤に挿入し、再度 $\sigma = 20$ kPa で予圧密を行った後、 $\sigma = 40$ kPa, 80 kPa で段階的に載荷を行った。また、実規模スケールでの検証を行う前段階として、模型実験を模擬した同一条件における二次元 FEM 解析を行った。解析は、Case 0 (無改良), Case 1 (砂杭), Case 2 (セメント) を対象に行った。解析モデルは二次元平面ひずみ条件とし、粘土層には修正カムクレイモデル、セメント固化処理土には弾性体モデル、砂杭にはモールクーロンモデルを用いた。表2に解析に用いた材料パラメータを示す。

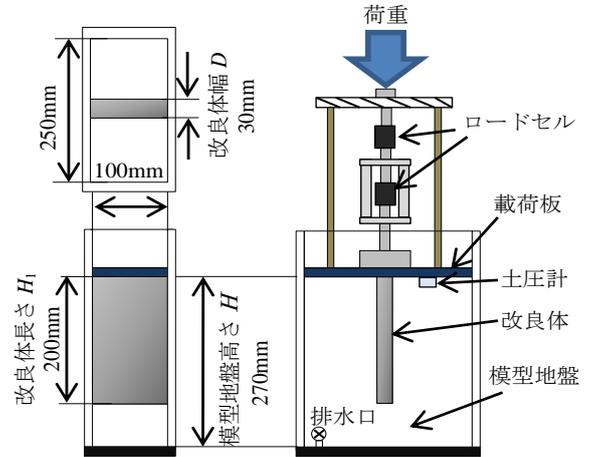


図1 平面ひずみ載荷模型実験装置概略図

表1 改良パターン

Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
無改良	砂杭	セメント 固化処理土	アルミ杭	水砕 スラグ

表2 解析モデルの材料定数

	r_{sat} (kN/m ³)	e_{int}	E (kPa)	ν	k (m/sec)
粘土	18	1.8		0.30	8.3E-08
セメント固化処理土			1.2E+05	0.30	8.3E-08
砂杭	18	0.68	4.6E+03		2.0E-04
	λ	κ	c' (kN/m ²)	Φ' ($^{\circ}$)	OCR
粘土	0.11	3.3E-02	1.0	31	1.0
セメント固化処理土					
砂杭			1.0	30	

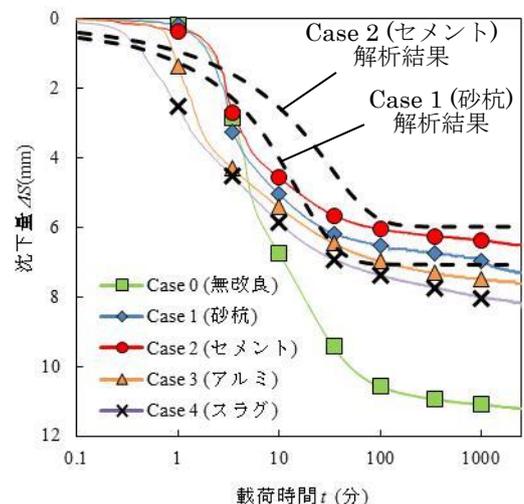


図2 圧密沈下量の経時変化

3. 実験結果

図2に $\Delta\sigma = 40 \text{ kPa}$ ($\sigma = 40\text{-}80 \text{ kPa}$) のケースにおける荷重時間と圧密沈下量の関係を示す。模型実験によって得られた結果を実線、解析結果を破線で示した。Case 2 (セメント改良体) の改良地盤において最も沈下が抑制された。また、Case 1 (砂杭), Case 4 (スラグ) の改良地盤においても沈下が抑制されている。これは軟弱なカオリン粘土の一部が圧縮性の小さな改良体に置換されたことが要因と考えられる。解析結果と実験結果の最終沈下量は概ね良い一致を示している。

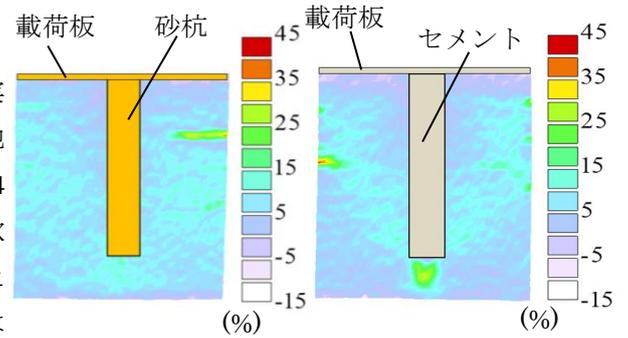


図3 鉛直方向ひずみ分布 ($\sigma = 0\text{-}80 \text{ kPa}$)

画像解析により得られた模型地盤内の鉛直ひずみ分布を図3に示す。改良体の透水性が小さく、剛性の大きな Case 2 (セメント固化処理土) の改良地盤では、鉛直方向ひずみは荷重が集中する改良体直下で大きく生じている。それに対し、Case 1 (砂杭) の改良地盤は、鉛直ひずみが改良地盤内に均等に分布する傾向を示した。砂杭、水砕スラグの剛性がセメント固化処理土と比較して小さく、改良体が周辺の粘土地盤と一体となって沈下したことが要因の一つと考えられる。

各荷重段階において、各改良ケースの圧密終了時間 ΔT を 3t 法によって定め、Case 0 (無改良) の圧密終了時間 ΔT_0 で正規化した結果を図4に示す。荷重段階によらず Case 1 (砂杭), Case 4 (スラグ) の圧密終了時間 ΔT は Case 0 (無改良) と比較して 60% 以下に抑えられた。この結果から、粘性土地盤と比較して透水係数の大きな材料を改良体として適用した改良地盤の圧密促進効果が確認された。

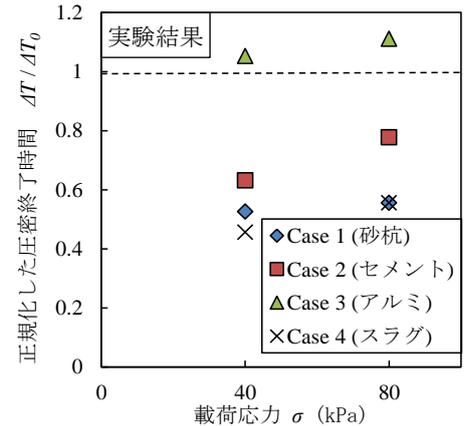


図4 各荷重段階の圧密終了時間

図5に圧密終了時間の実験結果と解析結果の比較を示す。解析結果は、改良地盤内における最大過剰間隙水圧が 1 kN/m^2 以下になった時間を圧密終了時間 ΔT と定めた。実験結果および解析結果はともに、透水係数の大きな改良体を用いた Case 1 (砂杭) の改良地盤の圧密終了時間が最も短くなった。また、全ての改良ケースにおいて実験結果と解析結果は概ね良い一致を示した。

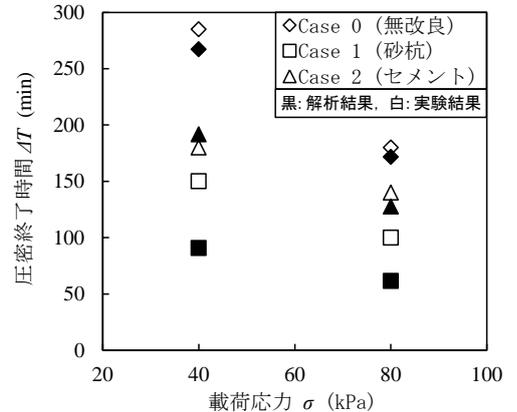


図5 圧密終了時間の実験結果と解析結果の比較

4. まとめ

本論文では、非着底改良地盤を模擬した模型実験と二次元 FEM 解析を行い、改良体に排水材料を適用した非着底改良地盤の圧密沈下挙動について考察した。改良地盤の沈下量の比較から、砂材、水砕スラグを用いた改良地盤の沈下の抑制が確認された。画像解析の結果から、砂杭を用いた改良地盤では鉛直ひずみが地盤内に一様に分布する傾向が確認された。模型実験、二次元 FEM 解析により得られた改良地盤の圧密終了時間から、透水係数の大きな改良体を用いた改良地盤は、無改良地盤と比較して圧密終了時間が短縮されることが確認された。今後は、改良体を着底させた改良ケースとの比較を行い、非着底改良ケースとの圧密挙動の違いを検証する予定である。

【謝辞】本研究の一部は、科学研究費補助金(課題番号 15K18114)の支援を得て実施したものである。ここに記して謝意を表します。また、研究を行う上でご指導頂いたハザリカ・ヘマンタ教授、実験装置の作製等においては中島通夫技術協力スタッフに対してここに記して厚く謝意を表します。

【参考文献】1) 甲斐田葉丞・石蔵良平他(2016): 複合地盤の応力分担特性に着目した非着底改良地盤の圧密沈下挙動に関する考察, 土木学会第71回年次学術講演会概要集, III-257, 2) 松田博・来山尚義他(2004): 高炉水砕スラグの地盤改良材としての適用性に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No. 764, III-67, pp.85-99